

## Expansão direta na estimativa de culturas agrícolas por meio de segmentos regulares

Marcos Adami<sup>1</sup>  
Mauricio Alves Moreira<sup>2</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>2</sup>  
Corina da Costa Freitas<sup>2</sup>  
Rogério Teixeira de Faria<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná,  
Av. Minas Gerais, 1351 - 86300-000 - Cornélio Procópio – PR, Brasil  
adami@seab.pr.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{mauricio, bernardo}@ltid.inpe.br; corina@dpi.inpe.br

<sup>3</sup> Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR  
Caixa Postal 481- 86047-902 - Londrina - PR, Brasil  
rtfaria@iapar.br

**Abstract.** The objective of this work was to develop a method to estimate coffee, corn and soybean area in the region of Cornélio Procópio, Paraná State, Brazil, that comprises 23 municipalities. The direct expansion method with regular segments of 1 x 1 km, was selected for area estimation. Remote sensing images, classification procedures, GIS, GPS among others were used for stratification of sample panel, location of segments, image analysis etc. From the total study area 1.26% was sampled which corresponds to 89 segments that were visited during a field work of 12 days in early December. Compared to the official estimates, best results were obtained for soybean crop, which occupies 32.1% of the entire study area. Soybean was underestimated by 5.9% with a coefficient of variation equal to 6.6%. Results were available in mid December and no difficulty was found to identify the segments in the field with the GPS, indicating that the proposed method is adequate to provide accurate forecast area estimation for high density crop cultivation.

**Palavras-chave:** remote sensing, area estimation, agricultural statistics, sensoriamento remoto, estimativa de área, estatísticas agrícolas.

### 1. Introdução

As estimativas de safras são importantes para a sociedade, pois fornecem informações ao mercado sobre a oferta de produtos agrícolas. Além disso, elas são utilizadas para definir políticas públicas de estoques, preços dos produtos e ajudam os agentes do agronegócio a planejarem suas atividades e a tomarem decisões acertadas.

O levantamento de dados da safra agrícola pode ser realizado de forma censitária ou amostral. O censo tem custo elevado, demora para obter os dados e muitas vezes não atende ao critério de oportunidade (Cochran, 1977). Já a amostragem é ágil na obtenção de dados e apresenta baixo custo. Os métodos de levantamento por amostragem dividem-se em subjetivos e probabilísticos. Os subjetivos fornecem estimativas não associadas a erros, enquanto que nos probabilísticos há sempre um erro associado à estimativa (Gallego, 1995; FAO, 1996).

Nos métodos probabilísticos, em que se utilizam imagens de satélites, são empregados dois métodos de estimativa: por regressão e por expansão direta. Em ambos os métodos utilizam-se amostras de áreas compostas por segmentos, ou seja, dados coletados em pequenas áreas aleatoriamente distribuídas na área de interesse. Quanto aos segmentos, estes podem ser de diferentes tamanhos e formas: pontual, circular, quadrado ou irregular quando o

segmento é delimitado por feições mais estáveis, sendo estes os mais utilizados até a década de 90 do século passado. Os recentes avanços tecnológicos nos sistemas de informações geográficas (SIG) e no GPS (Global Positioning System) de navegação viabilizam o uso de segmentos regulares eliminando a necessidade de se utilizar segmentos com limites físicos bem definidos para identificação no campo.

Assim, essa pesquisa tem por objetivo desenvolver uma metodologia de estimativa de áreas agrícolas para as culturas do café, milho e soja, na região de Cornélio Procópio no estado do Paraná, por meio da técnica de expansão direta de segmentos regulares e do uso de imagens de satélites de sensoriamento remoto, SIG e GPS.

## 2. Material e método

A região de estudo localiza-se ao norte do estado do Paraná compreendendo vinte e três municípios pertencentes ao Núcleo Regional de Cornélio Procópio da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (SEAB) do Paraná com área de 7.480,11 km<sup>2</sup> (**Figura 1**). A área é tipicamente agrícola com grande diversidade de relevo. Os municípios ao norte possuem topografia mais plana, sendo pouco suscetíveis à erosão e são mecanizáveis em grande parte da área. Ao sul da área de estudo, o relevo é acidentado e a mecanização é empregada de forma restrita (Ministério da Agricultura, 1981).

A metodologia empregada para estimar as áreas ocupadas pelas culturas de café, milho e soja é fundamentada no procedimento de amostragem aleatória estratificada, conforme ilustrado no fluxograma da **Figura 2**. Um banco de dados geográfico foi criado num ambiente SIG, usando o aplicativo SPRING com o gerenciador de banco de dados ACCESS (Câmara et al., 1996). Neste banco de dados foram inseridas imagens do satélite Landsat-7 sensor ETM<sup>+</sup> correspondentes às órbitas 221 e 222 do ponto 72, obtidas nos anos de 2001, 2002 e 2003. Foram também armazenadas no banco de dados os elementos cartográficos (drenagem, estradas, cidades, represas, lagos, áreas de reserva), informações cadastrais e estatísticas existentes a respeito da região além de dados coletados no campo.

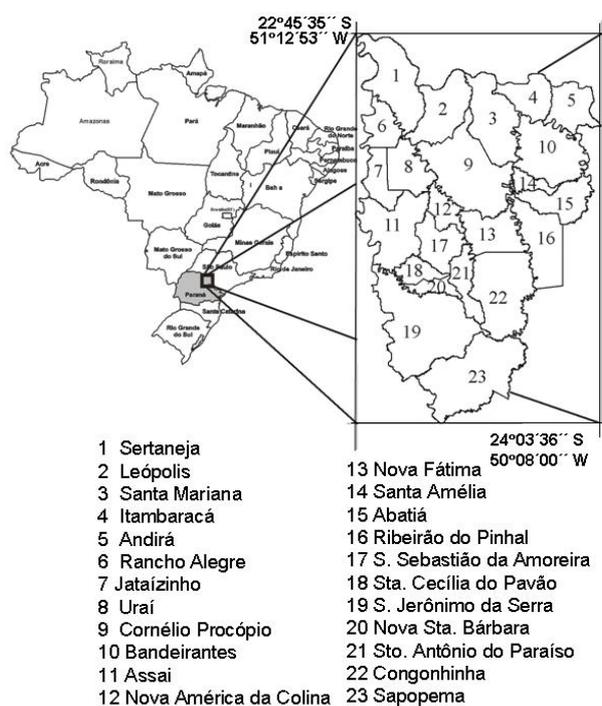


Figura 1 – Localização da área de estudo.

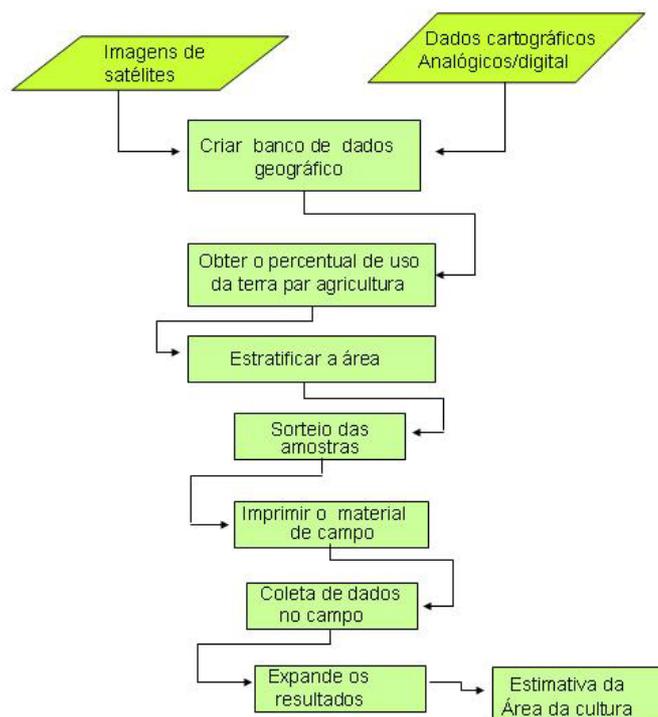


Figura 2 - Fluxograma para obtenção da estimativa de área cultivada.

No SPRING foram realizadas as etapas que envolvem o tratamento das imagens e o geoprocessamento, dentre as quais destacam-se: classificação das imagens, estratificação, segmentação, consultas, alocação dos segmentos e cálculo da área por segmento. Para a classificação, optou-se por utilizar o classificador não-supervisionado ISOSEG (Bins et al., 1993) uma vez que Adami et al. (2002), ao compararem os resultados de diferentes classificadores com resultados de interpretação visual, encontraram maior valor do coeficiente Kappa para o classificador não-supervisionado. A classificação foi realizada conforme recomendação de Crepani et al. (2001), obtendo-se um mapa temático com cinco classes de uso e ocupação do solo: área agrícola (inclui solo exposto), pastagem, mata, corpos d'água e área urbana. De posse do mapa temático, realizou-se a estratificação da área de estudo por meio de um algoritmo de segmentação por crescimento de regiões que resultou na detecção de diversas regiões homogêneas. Estas foram agrupadas nos estratos de acordo com o percentual da área destinada à agricultura empregando-se método adotado por Mueller et al. (1988) no Projeto de Previsão de Safras (PREVS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou seja: estrato A (80% ou mais de área cultivada); B (50% a 79% de área cultivada); D (15% e 49% de área cultivada, com predominância de pastagens); E (menos de 15% de área cultivada); F (áreas não agrícolas) e; G, (15% e 49% de área cultivada, sem a predominância de pastagens).

Para estabelecer o delineamento amostral é necessário ter o conhecimento do comportamento da variável, sua média e sua variância. É necessário também saber o procedimento para seleção das amostras e do estimador a ser utilizado. Em função disto é possível realizar a estimativa e mensurar sua precisão. Para a previsão de safras agrícolas são adotados basicamente três esquemas de amostragem: por listas ou cadastros, por área ou territorial e a combinação de ambas, por meio de painéis múltiplos (Gallego, 1995; FAO, 1996). Na **Tabela 1** estão contidos alguns dos requisitos necessários para o método de amostragem por lista e para o método de amostragem por área.

Tabela 1 – Requisitos dos métodos de amostragens por lista e por área

Item	Lista	Área
Atualização	Depende de manutenção para atualização do cadastro	Pode ser realizada por meio da classificação de imagens
Entrevista	Depende da entrevista ao produtor	Não depende da entrevista ao produtor
Localização da área	Não necessita localizar a área.	Necessita localizar a área
Erros	Podem ser oriundos tanto da anotação do agente quanto do entrevistado	Podem ser oriundos da anotação do agente

Com base nas informações da **Tabela 1** selecionou-se o método de amostragem por área uma vez que a maior dificuldade para criar um método de amostragem por listas é a atualização do cadastro que se torna ainda mais crítica para o caso de culturas temporárias.

A Tabela 2 apresenta as características dos segmentos para o método de amostragem por área adotando-se para este trabalho segmentos regulares. Assim, os estratos foram divididos em unidades menores de amostragem correspondentes aos segmentos regulares de 1 x 1 km, na forma matricial e compatível com os limites dos estratos para que os segmentos das bordas estivessem integralmente dentro do estrato, conforme recomendou Gallego (1995). Para cada estrato de uso e ocupação do solo foi realizado o sorteio de uma subamostra de segmentos para a coleta de dados no campo. A alocação das subamostras foi realizada através de um sorteio aleatório, baseado no critério de amostragem aleatória estratificada, conforme recomendação de Cochran (1977).

Tabela 2 – Características dos métodos de amostragem por área

Item	Pontos	Segmentos Regulares	Segmentos Irregulares
Localização	Depende de GPS	Depende de GPS	Independente de GPS
Estimador	Expansão direta	Expansão direta e regressão	Expansão direta e regressão
Variáveis	Área e Produtividade	Todas as variáveis associadas à área	Todas as variáveis associadas à área.
Deslocamento	Maior	Menor	Menor
Imagem de alta resolução espacial	Não	Não	Sim

A coleta de dados no campo, nos segmentos sorteados, foi realizada com auxílio do GPS e de uma imagem de satélite georreferenciada, contendo os limites do segmento, gerada no SPRING e impressa na escala 1:25.000. Este trabalho teve início dia 29/10/2002 e terminou dia 10/12/2002. Esta data de coleta tomou como base o zoneamento agrícola (IAPAR, 2003).

Após realizar o trabalho de campo os dados coletados foram inseridos no banco de dados. Esse procedimento foi realizado de duas maneiras: 1) quando se observou que o uso do solo no segmento era o mesmo da imagem então a área foi obtida diretamente da imagem e introduzida no banco de dados por meio da digitalização dos limites das feições de uso do solo; 2) quando o uso do solo não pode ser definido na interpretação visual da imagem a

delimitação dos diferentes usos do solo foi realizada por caminhamento com o GPS cuja rota foi posteriormente importada para o SPRING.

Após realizar este procedimento para todos os estratos, os dados foram importados para o software Excel, para a estimativa da área através do modelo de expansão direta (Krug e Yanasse, 1986; Mueller et al., 1988; FAO, 1996; Adami, 2004).

### 3. Resultados e discussão

O resultado da classificação não-supervisionada (ISOSEG) das imagens do Landsat-7/ETM<sup>+</sup> é apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Uso do solo por meio da classificação não-supervisionada das imagens do Landsat-7/ETM<sup>+</sup> para o Núcleo Regional de Cornélio Procópio

Tema	Área (km <sup>2</sup> )	%
Corpos d'água	263,20	3,51
Mata	1.110,37	14,83
Pastagem	2.928,72	39,12
Solo exposto	2.958,93	39,52
Agricultura	175,09	2,34
Área urbana	50,07	0,68
Área total	7.486,38	100,00

Nota-se nos resultados contidos na **Tabela 3** que o percentual de área ocupada com a classe mata foi inferior a 15%, demonstrando a alta antropização desta área. Observa-se também que as classes solo exposto e pastagem foram as de maior expressão na área de estudo, com 39,5% e 39,12%, respectivamente. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que a imagem utilizada para a estratificação foi obtida na época de preparo do solo para plantio. Por outro lado, somando as áreas das classes agricultura e solo exposto (solo preparado para plantio) tem-se o total de 3.134,0 km<sup>2</sup>, o que difere em 2,4% da área agrícola estimada pelo levantamento realizado pela SEAB/DERAL (2003) para o mesmo ano agrícola (3.211,29 km<sup>2</sup>).

Os resultados da classificação (**Tabela 3**) também podem ser utilizados para nortear a pesquisa subjetiva, pois é possível fornecer para os técnicos responsáveis pelo levantamento das safras agrícolas a área utilizada para o cultivo de lavouras temporárias, por município. Desta forma, caberia aos mesmos realizar a divisão desta área entre as culturas de uma determinada safra, isso reduziria o erro no momento de estimar a área ocupada por cultura, por município.

O número de segmentos amostrados e o percentual de área amostrada, por estrato de uso do solo, encontram-se na **Tabela 4**. A área amostrada correspondeu a 1,23% da área total da região e foi estabelecida com base em Hill e Mégier (1988). O fato de ter utilizado o geoprocessamento para realizar o sorteio e alocação das amostras de área tornou o método mais rápido e mais prático, quando comparado aos procedimentos manuais descritos por Mueller et al. (1988).

Tabela 4 – Total de segmentos, segmentos sorteados e percentual de segmentos sorteados

Estrato	Total de segmentos (a)	Segmentos sorteados (b)	Área sorteada (%) (b/a)*100
Estrato A	1416	25	1,77
Estrato B	1432	28	1,95
Estrato D	2919	31	1,06
Estrato E	1404	03	0,21
Estrato G	28	02	7,21
Total	7199	89	1,23

A estimativa de área usando o estimador de expansão direta é mostrada na **Tabela 5**. Nota-se que a área estimada com a cultura da soja foi de 2.402,6 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 33% da área total de todos os estratos que fizeram parte do delineamento amostral (7.119,0 km<sup>2</sup>). A área ocupada com milho (159,4 km<sup>2</sup>) e café (229,1 km<sup>2</sup>) é pouco expressiva. O menor coeficiente de variação (CV) observado foi para soja (5,83 %). Já as culturas de café e milho tiveram CVs relativamente altos com valores de 24,53% e 26,05%, respectivamente. De acordo com os dados coletados em campo estes valores altos não são muito críticos, uma vez que foi observada baixa frequência de segmentos amostrados com café e milho e uma alta variabilidade de área destas culturas. Estes fatores elevaram a variância da estimativa e, conseqüentemente, o CV. Esse fato foi muito relevante para o conhecimento, porque ficou demonstrada a importância de se levar em consideração o percentual de ocupação das culturas no momento de estratificação. Essa informação complementar pode ser obtida nas estatísticas oficiais.

Tabela 5 – Comparativo entre a área estimada pela amostragem e a estimativa subjetiva realizada pelo SEAB/DERAL, para o Núcleo Regional de Cornélio Procópio

Cultura	Amostragem (km <sup>2</sup> ) a	CV(%)	SEAB/DERAL (km <sup>2</sup> ) b	Diferença Relativa (a-b)/a
Café	159,4	24,50	136,7	14,2 %
Milho	229,1	26,05	409,0	-78,6%
Soja	2.402,6	6,59	2.544,0	-5,9%
Total	2.791,1	-	3.089,7	-10,7%

Ao comparar os resultados de estimativa de área obtidos por meio da expansão direta, com a estimativa subjetiva gerada pelo SEAB/DERAL (2003), conforme mostrado na **Tabela 5**, observa-se que a maior diferença encontrada foi para a cultura do milho, cuja área estimada pelo DERAL foi 78,6% maior do que a obtida nessa pesquisa. A estimativa da área de café foi de 14,2% superior e a soja subestimada em 5,9% em relação aos dados do DERAL. Com relação ao milho, o resultado pode ser justificado, em função da ocorrência de um veranico ocorrido por ocasião da época recomendada para a semeadura, fazendo com que os agricultores que tinham a intenção de cultivar milho optassem pela soja. No entanto, no levantamento inicial feito pelos técnicos do SEAB/DERAL (2003) esta nova situação não foi considerada fazendo com que a área de milho fosse superestimada. Com relação às estimativas para as culturas de café e soja a diferença está dentro do CV, podendo ser consideradas como sendo estatisticamente iguais.

Pode-se comentar também que três dias depois do término da coleta de dados no campo, ou seja, em meados de dezembro já se tinha o resultado da estimativa de área cultivada. Desta forma, o método utilizado nessa pesquisa atende-se ao critério de oportunidade.

#### 4. Conclusões

Tendo em vista os objetivos propostos e os resultados encontrados, apresentam-se as seguintes conclusões: 1) o mapeamento temático possibilita a estratificação e pode ser utilizado como parâmetro para os levantamentos subjetivos; 2) os segmentos regulares puderam ser facilmente localizados a campo, com o uso do GPS; 3) as estimativas de área cultivadas foram rápidas e atendem aos critérios de oportunidade; 4) associado a estas estimativas tem-se o erro, desta forma atende-se ao critério de confiabilidade e; 5) os erros das estimativas variaram em função da área ocupada pela cultura na região.

#### 5. Referências

Adami, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnica de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2004. 185p. (INPE-10235-TDI/900). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Adami, M.; Pinheiro, E. S.; Moreira, M. A.; Fonseca, L. M. G. Aplicações de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/Landsat-7 no mapeamento agrícola. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota Y Sistemas de Information Espacial, 10; Reunion Plenaria de SELPER, 21. Cochabamba, 2002 **Anais**. Cochabamba: SELPER, 2002. v., p. 8.

Bins, L. S., Erthal, G. J., Fonseca, L. M. G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 6, Recife, 1993. **Anais**. Recife: SBC/UFPE, 1993. v.2, p. 65-68.

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. C. P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.

Cochran, W. G. **Técnicas de Amostragem** 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.

Crepani, E. Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura e uso atual da terra**. São José dos Campos: INPE, 2001. 36p. (INPE-8478-NTC/346).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Multiple frame agricultural surveys: current survey based on area and list sampling methods**. Roma, 1996. v.1.

Gallego, F. J. **Sampling frames of square segments**. Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.

Hill, J.; Mégier, J. Regional land cover and agricultural area statistics and mapping in The Département Ardèche, France, by user Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 10-11, p. 1573-95, 1988.

Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). **Zoneamento Agrícola**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iapar/zonpr/>>. Fev. 2003.

Krug, T.; Yanasse, C. C. F. **Estimativa de safras agrícolas utilizando dados coletados por satélites de sensoriamento remoto e dados terrestres, através de amostras de substratos geográficos**. São José dos Campos: INPE, 1986. 51 p. (INPE-4102-RPE/534).

Ministério da Agricultura. **Levantamento e reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Brasília, 1981. (Mapa Temático. Escala 1:600.000).

Mueller, C. C.; Silva, G.; Villalobos, A. G. Pesquisa Agropecuária do Paraná - Safra 1986/87 (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). **Revista Brasileira de Estatística**, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.

Paraná. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL). Dados da Região de Cornélio Procópio. (ccpseab@pr.gov.br, Fev. 2003). Comunicação Pessoal